

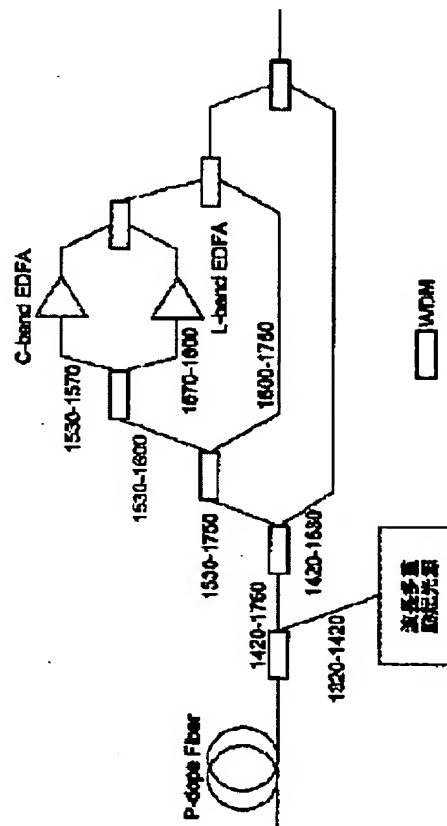
**WIDE-BAND RAMAN AMPLIFIER AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM USING IT**

**Patent number:** JP2002280652  
**Publication date:** 2002-09-27  
**Inventor:** AKASAKA YOICHI  
**Applicant:** FURUKAWA ELECTRIC CO LTD  
**Classification:**  
**- international:** G02F1/35; H01S3/06; H01S3/30; H04B10/16; H04B10/17; H04J14/00; H04J14/02; G02F1/35; H01S3/06; H01S3/30; H04B10/16; H04B10/17; H04J14/00; H04J14/02; (IPC1-7): H01S3/30; G02B6/16; G02F1/35; H01S3/06; H04B10/16; H04B10/17; H04J14/00; H04J14/02  
**- european:**  
**Application number:** JP20010074975 20010315  
**Priority number(s):** JP20010074975 20010315

Report a data error here

**Abstract of JP2002280652**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To manufacture an optical amplifier having further increased bandwidth since light amplification methods for increasing transmission capacity so far developed are limited. **SOLUTION:** A phosphor-doped optical fiber having a gain peak at a plurality of bands is utilized, and wavelength multiple stimulation light is allowed to enter the optical fiber to allow the wavelength multiple signal light to be subjected to Raman amplification, thus realizing a wide-band amplification. In the wide-band Raman amplifier, no wavelength multiple signal light is arranged at a non-gain band or a fine gain band being generated among a plurality of signal gain bands that are generated by wavelength multiple excitation light. The wavelength multiple signal light is arranged among the plurality of signal gain bands, and the wavelength multiple signal light is amplified using signal light at a short-wavelength side that is amplified by a wavelength multiple stimulation light source as stimulation light. The wide-band Raman amplifier is used for Raman amplification, and at the same time the non-gain band or the fine gain band of the wide-band Raman amplifier is subjected to light amplification by an Er-doped fiber amplifier.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-280652

(P 2 0 0 2 - 2 8 0 6 5 2 A)

(43) 公開日 平成14年9月27日 (2002.9.27)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ターマコード (参考)
H01S 3/30		H01S 3/30	Z 2H050
G02B 6/16		G02B 6/16	2K002
G02F 1/35	501	G02F 1/35	501 5F072
H01S 3/06		H01S 3/06	B 5K002
H04J 14/00		H04B 9/00	E

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 7 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-74975 (P 2001-74975)

(22) 出願日 平成13年3月15日 (2001.3.15)

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 赤坂 洋一

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

(74) 代理人 100076369

弁理士 小林 正治

F ターム (参考) 2H050 AB18Z

2K002 AA02 AB30 BA01 CA15 DA10

HA23

5F072 AB07 AB09 AK06 QQ07 YY17

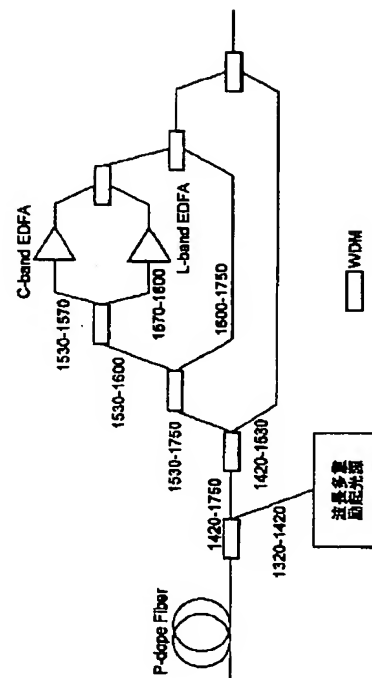
5K002 CA13 DA02

(54) 【発明の名称】 広帯域ラマン増幅器とそれを用いた光通信システム

## (57) 【要約】

【課題】 伝送容量を増加できる光増幅方法が種々開発されているが、いずれも限度であり、より一層広帯域の光増幅器が要求されている。

【解決手段】 複数帯域に利得ピークを有する燐ドープ光ファイバを利用し、それに波長多重励起光を入れて波長多重信号光をラマン増幅して、広帯域増幅を実現した。前記広帯域ラマン増幅器において、波長多重励起光によって生じた複数の信号利得帯域の間に生じた無利得帯域あるいは微少利得帯域に波長多重信号光を配置しないようにした。前記複数の信号利得帯域間に波長多重信号光を配置し、その波長多重信号光を、波長多重励起光源によって増幅された短波長側の信号光を励起光として増幅するようにした。前記広帯域ラマン増幅器によってラマン増幅すると共に、広帯域ラマン増幅器の無利得帯域あるいは微少利得帯域を、E r ドープファイバアンプによって光増幅するようにした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】光ファイバのコアに屈折率を増加させる為のドーパントとして燐がドーパされた光ファイバにおいて、波長多重信号光を波長多重励起光によりラマン増幅することを特徴とする広帯域ラマン増幅器。

【請求項2】請求項1の広帯域ラマン増幅器において、波長多重励起光によって生じた複数の信号利得帯域の間に生じた無利得帯域あるいは微少利得帯域に波長多重信号光を配置しないことを特徴とする広帯域ラマン増幅器。

【請求項3】請求項1の広帯域ラマン増幅器において、波長多重励起光によって生じた複数の信号利得帯域の間に生じた無利得帯域あるいは微少利得帯域に波長多重信号光を配置し、その信号光が、波長多重励起光によって増幅されて長波長側に遷移する短波長側の信号光を励起光として増幅されることを特徴とする広帯域ラマン増幅器。

【請求項4】請求項1又は請求項2の広帯域ラマン増幅器において、波長多重励起光によって生じた複数の信号利得帯域の一部が1300nm～1600nmの波長範囲内にあり、他の一部が1450nm～1750nmの波長範囲内にあり、それぞれの範囲の信号利得帯域が重ならないことを特徴とする広帯域ラマン増幅器。

【請求項5】請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の広帯域ラマン増幅器を使用して、波長多重信号光をラマン増幅することを特徴とする光通信システム。

【請求項6】請求項4の広帯域ラマン増幅器によってラマン増幅すると共に、Erドーパファイバで増幅可能な無利得帯域あるいは微少利得帯域を、Erドーパファイバンプによって増幅することを特徴とする光通信システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は波長多重(WDM)伝送システムに使用されるラマン増幅器とそれを用いた光通信システムに関し、燐(P)がドーパされた光ファイバを利用して波長多重信号光の利得帯域幅を波長多重励起光により広げたものである。

## 【0002】

【従来の技術】一般的な光ファイバは、光が伝播するコアが、ゲルマニウムがドーパされたシリカよりなる。それに励起光を入射すると励起光より概ね100nm長波長側に最大値(ピーク値)を持つラマン利得が得られる。そのピーク値は単一である。従って100nmにわたって励起光を波長多重すると、それぞれの励起光に対応した利得帯域が重なり合うことで、おおよそ100nmの利得帯域を得ることが出来る。それよりも更に利得帯域を拡大したい場合は、励起光源を100nm以上にわたって波長多重することが考えられる。しかし、そのようにすると励起光の最も長波側の励起光と信号光の最も短波側の信号光と

が重なってしまい、信号伝送に適しなくなる。このため事実上はラマン利得帯域は約100nm以下に限定されていた。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】近年の情報量の急増から、伝送容量の拡大要求は止まるところを知らず、すでにEDFA(Erドーパファイバンプ)の増幅帯域である1530nm～1560nmは使い切られた感がある。増幅可能帯域の増加はWDM伝送においては伝送容量の増加とほぼ同意義である。現在、伝送容量を増加できるものとして、ラマン増幅方法を用いて100nm帯域を増幅可能な光アンプが提案されている。しかし、この波長域ですら近時に使い切られる見込みである。そこで本発明はWDM伝送における増幅可能帯域を更に増加させるラマン増幅器とそれを用いた光通信システムを提供するものである。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の広帯域ラマン増幅器は、光ファイバのコアに屈折率を増加させる為のドーパントとして燐がドーパされた光ファイバにおいて、波長多重信号光を波長多重励起光によりラマン増幅するものである。

【0005】本発明の第2の広帯域ラマン増幅器は、前記第1の広帯域ラマン増幅器において、波長多重励起光によって生じた複数の信号利得帯域の間に生じた無利得帯域あるいは微少利得帯域に波長多重信号光を配置しないものである。

【0006】本発明の第3の広帯域ラマン増幅器は、前記第1の広帯域ラマン増幅器において、波長多重励起光によって生じた複数の信号利得帯域の間に生じた無利得帯域あるいは微少利得帯域に波長多重信号光を配置し、その信号光が、波長多重励起光によって増幅された短波長側の信号光を励起光として増幅されるものである。

【0007】本発明の第4の広帯域ラマン増幅器は、前記第1又は第2の広帯域ラマン増幅器において、波長多重励起光によって生じた複数の信号利得帯域の一部が1300nm～1600nmの波長範囲内にあり、他の一部が1450nm～1750nmの波長範囲内にあり、それぞれの範囲の信号利得帯域が重ならないものである。

【0008】本発明の第5の光通信システムは、前記第1乃至第4のいずれかに記載の広帯域ラマン増幅器を使用して波長多重信号光をラマン増幅するものである。

【0009】本発明の第6の光通信システムは、前記第4の広帯域ラマン増幅器によってラマン増幅すると共に、ラマン増幅器の無利得帯域あるいは微少利得帯域(Erドーパファイバ(EDFA)で増幅可能な無利得帯域あるいは微少利得帯域)をErドーパファイバンプによって増幅するものである。

## 【0010】

【発明の実施の形態】シリカガラスにGeO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O

、 $B_2O_3$  をドーパントとしてドーブしたシリカガラスのラマンスペクトルはすでに報告されている。図4にPドーブファイバのラマン利得プロファイルを示す。図4は $P_2O_5$  添加ファイバ(PDF)と標準シングルモード光ファイバ(SMF)の利得プロファイルを比較した測定結果である。実線はPDFを、点線はSMFを表している。 $13THz$  ( $433cm^{-1}$ )あたりの両方の $g_R/A_{eff}$ 値は約 $0.5/W/km$ でほぼ同じであるが、PDFの第一のラマン利得ピークはO-P-O結合変角振動によってSMFと比較して広がっている。 $30THz$  ( $999.9cm^{-1}$ )帯域以上でSMFには利得はないが、PDFはP-O-Si及びP-O-P結合伸縮振動によって $30THz$ あたりに小さな利得があり、 $40THz$  ( $1333.2cm^{-1}$ )あたりにP=O結合伸縮振動による強いピークがある。広がった第一のピークと、強い第二のピークによって、夫々の単独のポンプ光源からより広い利得帯域が得られる。

【0011】Pドーブシリカガラスのラマンシフトは、図4の様に励起光に対して $490cm^{-1}$  ( $14.7THz$ )に、他のガラスと同様に大きなピークをもっており、この他に $1320cm^{-1}$  ( $39.6THz$ )にも鋭いピークを持ち、 $P_2O_5$ 濃度が大きい場合は $1200cm^{-1}$  ( $36.0THz$ )にもピークを持つことが報告されている。 $1320cm^{-1}$ のラマン周波数はP=O結合に起因しており、P=O結合によるラマン周波数は $710cm^{-1}$ にも見られる。これらのラマン周波数はSiO<sub>2</sub>のみのガラスあるいはGeO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>系のガラスでは観測されず、Pのみ(主としてP:Geは含まれてもごく僅か)がドーブされたシリカガラス特有のものである。 $P_2O_5$ -SiO<sub>2</sub>系ガラスに他のドーパントをドーブするとP=O結合が切断され、この結合に特有のラマン周波数が無くなる為、これらの特殊なラマン周波数を利用する場合、ドーパントは $P_2O_5$ のみ(主としてそれ一種類)であることが望ましい。前記第1の発明は $P_2O_5$ のみがドーブされた光ファイバを光増幅器として使用し、その光増幅器において波長多重信号光を波長多重励起光によりラマン増幅するものである。

【0012】 $P_2O_5$ 一種類のみがシリカにドーブされたガラス(ファイバ)は前記のように複数のラマンピークを持っている。これらは大別すると $490cm^{-1}$ を中心とする短波長ピークと、 $1200cm^{-1}$ と $1320cm^{-1}$ からなる長波長ピークからなる。これらの関係はたとえば励起光の波長を $1280nm$ にすると、 $1366nm$ と $1500\sim 1543nm$ にラマン利得があることになる。前記第4の発明はこの励起光波長近傍に励起光を波長多重したものであり、波長多重励起光によって生じた複数の信号利得帯域の一部が $1300nm\sim 1600nm$ の波長範囲内にあり、他の一部が $1450nm\sim 1750nm$ の波長範囲内にあるものである。

【0013】ラマン現象でのエネルギー遷移(ラマン遷移)は短波長から約 $100nm$ 長波長側に移るので、たとえば信号光が $100nm$ 以上の帯域内に存在すると信号光同士で(短波長側から長波長側へ)エネルギー遷移がおき

て、短波長側のエネルギーが確保できなくなり、短波長側の利得が得られなくなることがある。この場合、短波長側の増幅帯域と長波長側の増幅帯域との間に、ガードバンドとして信号を入れない領域を作るとエネルギー遷移を抑圧することができる。前記第2の発明は短波長側と長波長側の増幅利得帯域の間に存在する無利得領域あるいは微少利得領域に信号を配置しないことで、この信号間のエネルギー遷移を抑圧したものである。

【0014】一方、前記ラマン遷移を積極的に利用することも可能である。この場合は波長多重励起光によって生じた短波長側と長波長側の増幅利得帯域の中間領域の無利得帯域あるいは微少利得帯域に波長多重信号光を配置し、短波長側から長波長側にラマン遷移を起こすことを前提にして、ラマン遷移がおきても短波長側のエネルギーを確保できるように設計すれば、長波長側にラマン遷移した分だけ利得帯域が広がり、超広帯域伝送を実現することが出来る。前記第3の発明はこのようにした発明であり、中間領域に配置した波長多重信号光が、波長多重励起光源によって増幅された短波長側の信号光(長波長側にエネルギーを遷移する信号光)を励起光源として増幅されるようにしたものである。

【0015】Pドーブファイバの短波長側と長波長側の増幅利得帯域間の無利得領域あるいは微少利得帯域を $1530nm\sim 1600nm$ に調整することで、この帯域の信号パワーを十分に補償し、 $1400nm$ から $1750nm$ までの光ファイバの低損失帯域全てを使うこともできる。波長多重励起光によって生じた複数の信号利得帯域の一部が $1300nm\sim 1600nm$ の波長範囲内にあり、他の一部が $1450nm\sim 1750nm$ の波長範囲内にあり、それぞれの範囲の信号利得帯域が重ならないようにすることで、Pドーブファイバの短波長側と長波長側の増幅利得帯域間の無利得領域の信号パワーを十分に補償し、 $1300nm$ から $1750nm$ までの光ファイバの低損失帯域全てを使うこともできる。前記第4の発明はこのようにした発明である。

【0016】本発明では、前記ラマン増幅器を波長多重(WDM)伝送による光通信に使用することができる。これが前記第5の発明の光通信システムである。

【0017】本発明では、前記第4の広帯域ラマン増幅器によりラマン増幅すると共に、Erドーブファイバ(EDFA)で増幅可能な無利得帯域あるいは微少利得帯域、例えば同増幅器の $1530nm\sim 1600nm$ の帯域を、Erドーブファイバアンプによって信号光利得を得ることもできる。これが前記第6の光通信システムである。この場合、図1に示すように、無利得帯域である $1520nm$ から $1600nm$ までの信号をC-band用EDFAおよびL-band用EDFAで増幅することができる。この方式で $1400nm$ から $1750nm$ までの光増幅が可能となる。

【0018】表1にPドーブファイバにおける励起光波長に対応した $490cm^{-1}$ に起因する短波側増幅波長と、 $1320cm^{-1}$ に起因する長波側の増幅帯域波長を一覧で示し

た。表1から明らかなように、励起光の波長を1230nmから1310nmまで波長多重励起することで、短波長側の増幅帯域は1308.9nmから約1400nmまで、長波長側の増幅帯域は1470nm～1590nmとなる。励起光の波長を1320nmから1420nmまで波長多重励起することで、短波長側の増幅帯域は1410nmから1520nmまで、長波長側の増幅帯域は1600nm～1750nmとなる。

【0019】図2に本発明の広帯域増幅器を使用してWDM励起光により励起光源した場合の広帯域利得プロファイルの測定結果を示す。図2では双方向励起としてある。前方励起光の波長は1391、1397、1402、1410、1431nm、後方励起光の波長は1392、1398、1405、1411nmである。それぞれの波長の励起光源パワーは約22.5dBmである。Pドープファイバ(PDF)長は6.0kmである。図2では二つの利得帯域が発生している。両方の利得帯域は8dBあたりにほぼ同じ利得を持っている。この現象は、それぞれの利得帯域がほぼ同じであるために発生する。ドープ濃度を変えれば、この比率を制御できるので利得の傾きも利用できる。

【0020】二つの利得帯域は互いに連結することはできない。40THz以上の帯域の図表は実現化できないが、この差は二つの異なる応用に利用できる。図3は測

定した $g_s/A_{eff}$ で計算した模擬実験結果を示している。図3(a)の利得プロファイルは1320nm～1410nmのWDM励起によって得られた。第一の利得帯域は1420nm～1520nmで始まっている。第二の利得帯域は1610nm～1700nmで始まっている。1530nmから1600nmの帯域差にある信号は、C-及びL-EDFA(エルビウム添加光ファイバ)で増幅される。このため約300nmの帯域が信号伝送に使用される。異なる利得帯域間のエネルギー遷移を避けたい場合は、ガード帯域としてその差を利用することができる。他の応用を図3(b)に示す。非常に低いWDM励起光源(1200nm～1300nm)を使用することで、第一(1310nm)及び第二(1550nm)の遠距離通信帯域がこのラマン利得プロファイルによって同時に使用される。この方式ではOH吸収に起因する水ロス帯域を避けて信号光が伝送できる上、この帯域をガードバンドとして使用することができる。

【0021】(比較例) Ge-dope シリカファイバでは $490\text{cm}^{-1}$ に対応した利得帯域しかない為、励起光源を1360nm～1450nmまで波長多重しても増幅帯域は1457nm～1560nmまでのみとなる。

【0022】

【表1】

励起波長 (nm)	短波側増幅波長 (nm)	長波側増幅波長 (nm)
1200	1275.0	1427.9
1210	1286.3	1442.1
1220	1297.6	1456.3
1230	1308.9	1470.6
1240	1320.2	1484.9
1250	1331.6	1499.8
1260	1342.9	1513.7
1270	1354.3	1528.1
1280	1365.7	1542.6
1290	1377.0	1557.2
1300	1388.4	1571.8
1310	1399.9	1586.4
1320	1411.3	1601.1
1330	1422.7	1615.8
1340	1434.2	1630.6
1350	1445.6	1645.4
1360	1457.1	1660.3
1370	1468.6	1675.2
1380	1480.1	1690.2
1390	1491.6	1705.2
1400	1503.1	1720.3
1410	1514.6	1735.4
1420	1526.2	1750.6
1430	1537.8	1765.8
1440	1549.3	1781.1
1450	1560.9	1796.4

## 【0023】

【発明の効果】本発明の第1の広帯域ラマン増幅器は、光ファイバのコアにPがドープされた光ファイバにおいて、波長多重信号光を波長多重励起光によりラマン増幅するので、その光ファイバが有する複数のラマンピークにより、広帯域増幅が可能となる。

【0024】本発明の第2の広帯域ラマン増幅器は、波長多重励起光によって生じた複数の信号利得帯域の間に生じた無利得帯域あるいは微少利得帯域に波長多重信号光を配置しないので、ラマン現象でのエネルギー遷移が抑圧される。このため、エネルギー遷移がおきることによって短波長側のエネルギーが確保できなくなり、短波長側の利得が得られなくなる、ということがなく、広利得帯域を確保することができる。

【0025】本発明の第3の広帯域ラマン増幅器は、波長多重励起光によって生じた複数の信号利得帯域の間に生じた無利得帯域あるいは微少利得帯域に波長多重信号

光を配置し、その波長多重信号光が、波長多重励起光によって増幅された短波長側の信号光（長波長側にエネルギー遷移した短波長側の信号光）を励起光として増幅されるようにしたので、超広帯域増幅が可能となる。

【0026】本発明の第4の広帯域ラマン増幅器は、波長多重励起光によって生じた複数の信号利得帯域の一部が1300nm～1600nmの波長範囲内にあり、他の一部が1450nm～1750nmの波長範囲内にあり、それぞれの範囲の信号利得帯域が重ならないようにしたので、これら帯域の信号パワーを十分に補償して両帯域を光増幅することができ、広帯域増幅が可能となる。

【0027】本発明の第5の光通信システムは、前記広帯域ラマン増幅器を使用してラマン増幅するので、広帯域でのWDM伝送が可能となる。

【0028】本発明の第6の光通信システムは、前記第4のラマン増幅器によってラマン増幅すると共に、EDFAで増幅可能な無利得帯域あるいは微少利得帯域をEr

ドープファイバアンプによって信号光利得を得るので、従来100nm までと制限されていたラマン利得帯域を300nm 以上に拡大することができ、光ファイバの伝送容量を3倍以上に拡大することができる。

【図面の簡単な説明】

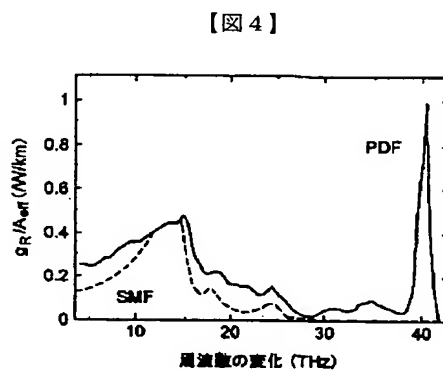
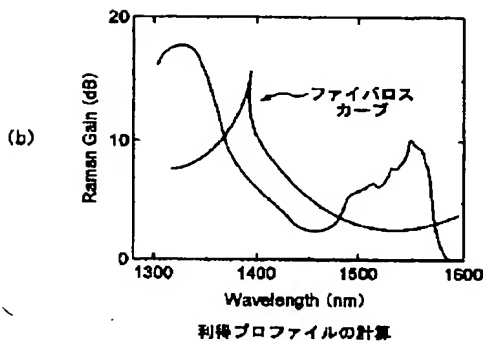
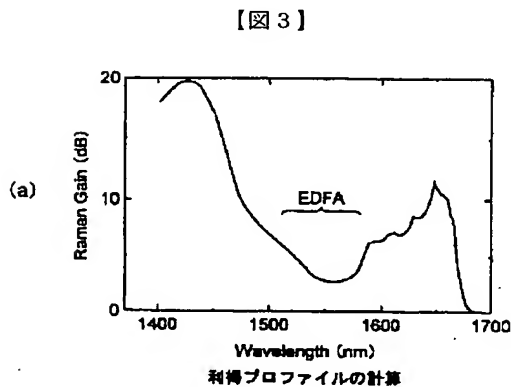
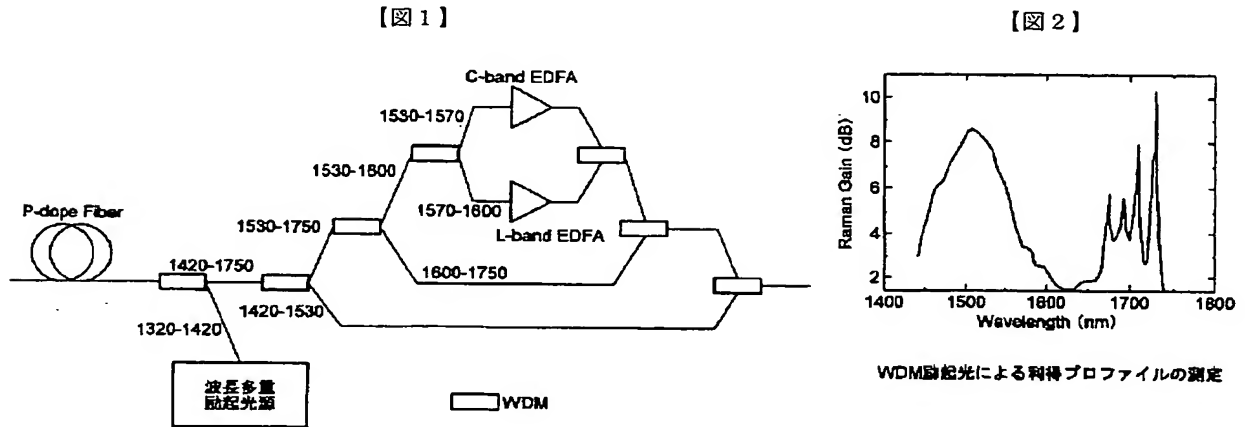
【図1】 本発明の光伝送システムの一例を示す説明図。

【図2】 本発明の広帯域増幅器を使用してWDM励起光により励起光源した場合の広帯域利得プロファイルの測

定結果を示す説明図。

【図3】 (a) (b) は測定した  $g_R/A_{eff}$  で計算した模擬実験結果の利得プロファイルであり、(a) は励起光が1320nm~1410nm、(b) は励起光が1230nm~1310nm の場合である。

【図4】 P添加ファイバのラマン利得プロファイルを示す図。



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

ターマコード (参考)

H 0 4 J 14/02

H 0 4 B 9/00

J

H 0 4 B 10/17

10/16